

Ultimate Anchorage Capacity of Concrete Filled Steel Box Connection as Footing

(フーチングとしてのコンクリート充填鋼殻接合部の終局耐力)

学位論文内容の要旨

The design of footing has become more conservative because of the damage in recent earthquakes. However, the application of current international design practice results in footing details having congested steel reinforcement in the pile cap and this is extremely difficult to construct according to designers recommendation. By considering this point, a new type of footing, concrete filled steel box footing (CFSB), is presented.

The prime objective of the study is to predict the moment anchorage and axial capacity of the concrete filled steel box footing by using the 3D finite element program CAMUI developed by authors laboratory. The steel box is filled with concrete and concrete filled steel tube (CFT) column is inserted in the box. As the first step, numerical simulation of the experimental specimens was carried out after introducing the new constitutive model for post peak behavior of concrete in compression under confinement. The modification was based on the concept that fracture energy of concrete in compression softening increases with the level of confinement. The modified equation is verified by the experimental data of concrete-filled steel tube. By using the concrete compression softening model with the modified fracture energy equation, the numerical simulation by 3D nonlinear finite element method (FEM) of experimental study to determine ultimate axial and moment anchorage capacity of steel pile in concrete filled steel box footing connection was carried out.

The experimental program included eleven specimens and was conducted in two phases. The first phase included two specimens subjected to axial loading on column with the parameter of concrete depth under the column. Failure mechanism of both specimens was characterized by crushing of concrete under the column and axial capacity increased with the increase of concrete depth. The second phase included nine specimens subjected to monotonic loading perpendicular to longitudinal axis of column with the parameters of column insertion length and pile thickness. Failure of four specimens took place due to crushing of concrete around the column and it was observed that anchorage capacity increased with the increase of insertion length. Failure of five specimens took place due to yielding of steel pile.

Based on experimental results the conclusion can be drawn that axial and moment anchorage capacity of footing obtained from simulation show good correlation with experimental data, showing the reliability of 3D non linear FEM simulation. Effect of different parameters i.e. insertion length, concrete

strength, box size, column size, column length and box tube thickness on the axial and moment anchorage capacity of the concrete filled steel box footing is observed by conducting parametric analysis with FEM simulation. From the analytical study, the following conclusions can be obtained.

Axial and moment anchorage capacity of the column CFSB footing connection is controlled by the crushing of concrete in the footing unless the yielding of steel in the column takes place. The axial anchorage capacity is controlled by the compression softening of the concrete under the column, while the moment anchorage capacity is controlled by the compression softening of concrete around the column.

The axial capacity of CFSB footing decreases with the decrease of concrete depth under the column. This decrease in axial capacity is due to the reduction of concrete peak stress under the column. This reduction of peak stress is due to tensile strain in the direction normal to peak stress.

The axial capacity of CFSB footing increases with increase of concrete strength. This increase of load is due to increase of concrete crushing stress with increase of concrete strength.

The axial capacity of the footing increases with the increase of column size. This increase of load is due to increase of bearing area of concrete.

The axial capacity of the CFSB footing increases with the decrease of box size. This increase in capacity is due to increase of confining stress and confining stress increases due to decrease of box size.

The moment anchorage capacity of the CFSB footing connection increases with the increase of column insertion length. This increase of load is due to increase of resistive moment provided by the surrounding concrete. Resistive moment increased due to increase of moment arm and resistive force provided by surrounding concrete. Moment arm and resistive force increased due to increase of insertion length. The moment anchorage capacity of the CFSB footing connection increases with the increase of concrete strength. This increase of capacity is due to increase of concrete crushing stress as the resistive moment.

The moment anchorage capacity of the CFSB footing connection increases with the increase of column size. This increase of capacity is due to increase of bearing area of the surrounding concrete.

The moment anchorage capacity of the CFSB footing connection increases with the increase of box tube thickness. This increase of peak load is because of the increase of confinement level of concrete surrounding the pile.

The moment anchorage capacity of the footing connection remains same with the increase of box size. For different column length outside the steel box failure of the connection takes place because of bending moment or shear force. For longer pile the failure takes place because of moment.

学位論文審査の要旨

主査	教授	上田多門
副査	教授	林川俊郎
副査	教授	後藤康明
副査	准教授	佐藤靖彦

学位論文題名

Ultimate Anchorage Capacity of Concrete Filled Steel Box Connection as Footing

(フーチングとしてのコンクリート充填鋼殻接合部の終局耐力)

より合理的な構造形式が必要な場合、空間的、時間的な施工上の制約がある場合等、従来のコンクリート構造や鋼構造に替え、種々の複合構造が採用される場合が増えている。複合構造の特徴として、異種部材の接合部の存在があるが、その合理的な設計法の確立は大きな課題となっている。種々の接合部形式があり、その多くが複雑な構造形態を取っていることから、接合部での力の伝達機構の解明が十分に進んでいない。その結果として、接合部では、シアコネクタ等の伝達要素や、鉄筋が過剰に配置される傾向があり、施工を難しく、かつ、施工費用を高くする要因となっている。このような背景の下、本研究は、構造形式が単純で、シアコネクタや鉄筋が不要な、最近開発された接合部構造、すなわち、コンクリート充填鋼殻接合部の合理的な設計法を確立するために行われたものである。この接合部構造は、実際の橋梁にも適用されており、設計法確立は重要である。接合部として、柱等の鉛直部材と基礎構造との接合部であるフーチングを対象に、3次元数値解析を主に、合わせて室内実験も行い、鉛直部材から伝達される軸力と曲げ・せん断に対する接合部の終局耐力を明らかにしたものである。その成果の概要を章ごとに示すと以下ようになる。

1章では、研究の背景を説明するために、複合構造およびその接合部を概観し、対象とするフーチングの一般的な説明、本研究に関連する過去の研究レビュー、コンクリート充填鋼殻接合部の説明し、最後に研究の目的と範囲を述べている。

この種の接合部の供試体を作成し、実験する方法では、時間も費用も要するため、数値計算によるシミュレーションは、実験を補完するためにも大変有用である。2章では、本研究で使用した、3次元非線形有限要素解析プログラム (CAMUI) で使用する材料構成モデルを概説している。特に、本研究を通じて明らかになった、充填コンクリートの圧縮応力下のポストピーク挙動の重要性と、その新たな構成モデルの提案を行っている。提案したモデルの妥当性は、既往のコンクリート充填鋼管の圧縮軸力挙動との比較によって示している。

終局耐力として、まず曲げモーメントとせん断力が組み合わさって作用する場合の成果を3章で示している。実験と数値解析の概要を説明した上で、破壊機構は、挿入した鉛直部材の周辺3か所で

生じるコンクリートの圧縮破壊であること、シアコネクタや鉄筋がなくても十分な終局耐力を有していることを明らかにしている。終局状態に影響を与える、鉛直部材を挿入するための開口部の大きさに対しても検討を行っている。破壊機構、終局耐力、終局時変形、鋼材のひずみ等の比較から、数値解析の信頼性も合わせて示している。

引き続き4章では、鉛直部材からの軸圧縮力に対する接合部の終局耐力に関する成果を示している。まず、実験の概要とその結果、数値解析の概要を述べている。破壊機構は、鉛直部材直下のコンクリートの圧縮破壊であること、シアコネクタや鉄筋がなくても十分な終局耐力と変形能力を有していることを明らかにしている。終局耐力、変形、鋼材のひずみ等を比較し、数値解析が安全側に実験事実を推測できることを示すとともに、実験で観察された大きな変形は数値解析上の制約条件から現時点では推測し難いとしている。

5章では、曲げ・せん断の下での接合部耐力に与える各種要因を、数値解析によるシミュレーションで明らかにしている。鉛直部材の挿入長さが長いほど、鉛直部材の断面が大きいほど、コンクリート強度が高いほど、鋼殻の厚さが厚くなるほど、終局耐力が大きくなること、鉛直部材基部の曲げモーメントとせん断力との比、鋼殻の寸法は、本研究の範囲では終局耐力に大きな影響を与えなかったことを示している。また、終局耐力がそれらの要因で増減する理由も明らかにしている。

軸圧縮力下の終局耐力に与える要因に関しては、6章で示している。まず、終局耐力に影響を与えると考えられる接合部の周囲の固定条件に関する検討を行い、直接基礎と杭基礎とで終局耐力には大きな影響を見られなかったこと、杭頭部の固定条件の差異も終局耐力には大きな影響を与えなかったことを示している。鉛直部材と鋼殻部の底板との距離が大きいほど、鉛直部材の断面寸法が大きいほど、鋼殻部の寸法が小さいほど、コンクリートの強度が高いほど、終局耐力が大きくなることを示している。また、それらの要因でなぜ終局耐力が増減するかも明らかにしている。

7章は本論文の2章から6章までの成果をまとめたものであり、また、今後の課題を併せて示している。

以上のように、著者は、複合構造の接合部構造として、新たに開発されたコンクリート充填鋼殻接合部の終局耐力に関する多くの新たな成果を示しており、複合構造の設計法の合理化、特に異種部材接合部の設計法の開発に大変有益な知見を得た上、複合構造学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認められる。